

関西支部だより

2014年5月23日第41回関西支部総会が、兵庫県立先端科学技術支援センター（兵庫県赤穂郡上郡町）において開催された。石川修六支部長の挨拶に続き、議長に大阪府立産業技術総合研究所の四谷任氏を選出した。委任状73名を含め93名の出席者を得て、総会成立（会員総数224名の1/4=56名以上）を確認した。始めに、2013年度事業報告、会計報告ならびに監査報告を全会一致で承認した。続いて2014年度の事業計画について企画幹事より報告された。次に2014年度の新役員が庶務幹事より報告され、2014年度の事業会員リストが庶務幹事より読み上げられた。続いて2014年度の予算案について会計幹事より説明があり、全会一致で承認された。最後に濱田衛新支部長より閉会の挨拶があった。

総会に引き続き13時45分より、2014年度関西支部第1回講演会・見学会が兵庫県立大学播磨理学キャンパスに隣接する兵庫県立先端科学技術センターにおいて開催された。参加者総数は20名（大学・研究所関係10名、会社関係・一般10名）であった。今回は、超伝導の研究を鋭意進められておられる兵庫県立大学の3名の先生による、大学院物質理学研究科の紹介と最先端研究について講演が行われた。講演後は、兵庫県立大学理学部の低温関係の研究室ならびに低温センターの見学会、懇親会が開催された。はじめに以下の3件の講演が行われた。

1. 「量子効果を用いた非従来型超伝導の研究」

住山 昭彦（兵庫県立大学 大学院物質理学研究科）

2. 「原子の内側から探る物性 -NMRによる電子状態の研究-」

水戸 毅（兵庫県立大学 大学院物質理学研究科）

3. 「原子核共鳴散乱による高圧力下の鉄系超伝導体の研究」

小林 寿夫（兵庫県立大学 大学院物質理学研究科）

住山氏の講演では、まず兵庫県立大の理学部開学の歴史の説明があった。続いて電子物性学講座での研究内容の説明があり、超伝導の量子効果として、従来型の超伝導近接効果、ジョセフソン効果、および最近の非従来型の重い電子系超伝導体のジョセフソン効果についての講演が行われた。超伝導の量子効果の典型として超伝導近接効果のミクロな説明の後、実験的に近接効果を観測する手法として銅クラッドの超伝導線を用いた、Cu-Nbの相互インダクタンス測定結果が示された。その後、近接効果の効果的な測定のため、線ではなく、薄膜で測定を行った結果、純度を高くすると元の超伝導体（ $12\mu\text{m}$ ）より厚いマイルスナー領域（ $48\mu\text{m}$ ）が見出され、ほとんど試料全体が超伝導性を示していることも明らかになった。また、超伝導物質と接する常伝導物質の種類を、高純度Cu（6N）、非磁性不純物、白金族、磁性不純物と変えるにつれて近接効果が弱まることも示された。以上は従来型（s波）の超伝導体の近接効果であるが、最近の研究として、非従来型すなわちp波、d波の超伝導体として、重い電子系（希土類化合物、U化合物）の超伝導体の近接効果の研究を進めている。ここでは、異方性も調べる必要があるためインダクタンス測定ではなく抵抗測定（ジョセフソン効果）による検出が行われた。

ジョセフソン効果の測定では、バルクの常伝導領域を通過する超伝導電流が低温において観測された。重い電子系超伝導体は薄膜化が難しいので単結晶上に接合を作成して研究を行っているが、異方性があるため特定の方向でジョセフソン効果が消失することが期待され、その観測を目指している。交流ジョセフソン効果としてのシャピロステップ (I-V 特性における電圧ステップ) が観測され、最低次のジョセフソン効果が確認された。

臨界電流の磁場依存性では、光のフラウンホーファー回折に似たパターンが期待され、これにより本当のジョセフソン効果かどうかの判別が可能となる。重い電子系超伝導体を用いて研究を進めており、スピン三重項超伝導体である UPt_3 の B 相では 2 つの対称性モデル (E_{1u} 、 E_{2u}) が考えられていたが、臨界電流の磁場依存性は E_{1u} で説明できそうであることが明らかになった。一方、A 相では E_{1u} と矛盾しているようにも見えるが、A 相の温度範囲が狭いため厳密な検証は困難であると考えている。C 相に関しては強磁場中で行う必要があるが、圧力印加により低磁場での測定を可能とした、その結果、ジョセフソン効果による綺麗な臨界電流の磁場によるパターンが観測できた。質問では、白金の超伝導転移温度はまだ分かっていない、どうしてかという質問が出された。住山氏は、もし純度の高い白金が入手できれば近接効果から臨界温度を予測することができるかもしれないという回答があった。

水戸氏の講演では、NMR(核磁気共鳴)の原理がまず説明され、注入エネルギーが小さいため系を乱さないで測定が可能であるという NMR の特徴が示された。さらに、プローブ核の NMR のナイトシフトの測定から試料の帯磁率が求められることの説明のあと、超伝導物質のナイトシフトからスピン対の情報が得られることが示された。すなわち s 波、d 波の Spin singlet では帯磁率は減少し、Spin triplet の p 波では減少しない。従来型の BCS タイプの金属超伝導体は s 波なので帯磁率は減少する。high-Tc 超伝導体は d 波なのでやはり Spin singlet となり、帯磁率が減少するが、 Sr_2RuO_4 ではナイトシフトがなく、Spin triplet の p 波と考えられている。Ce, Sm, Eu, Yb などのランタン系化合物では、価数によって磁性を持ったり非磁性になったりする特徴があり、内部構造を知る上で NMR が非常に有効となる。最近の研究として、Eu 化合物 EuPtP の ^{31}P -NMR、 $^{151,153}\text{Eu}$ -NMR/NQR の測定例が紹介された。 EuPtP は結晶の基本構造として、六方晶形に似ており、Eu の三角格子の層間に P が挟まれている。この物質は、Spring-8 での実験により、温度とともに価数に変化していく不思議な現象があることが分かっていた。そこで、 EuPtP の価数転移、磁気秩序による秩序構造の同定を行う目的で NMR 実験を行った結果、 ^{31}P -NMR より、Eu の 2 価の層と 3 価の層の比が温度ともに転移していくことが判明し、その価数構造を明らかにすることができた。また、低温では反強磁性相が現れており、外部磁場がゼロでも、内部磁場を利用した $^{151,153}\text{Eu}$ -NMR/NQR 実験により、 EuPtP の磁気秩序状態を同定することに成功したことが紹介された。

小林氏の講演は、鉄系超伝導体に圧力をかけ、放射光を用いた原子核共鳴散乱を行い、量子臨界点の観測など超伝導の発現機構の解明実験であった。核共鳴前方散乱では、同位体を選別して見ることができると、自然状態では存在比 2% しかない ^{57}Fe を 100% に enrich した試料を自前で作成し測定感度を高める工夫をしている。試料は、 EuFe_2As_2 で、最低温度 1.5K、最高磁場 8 T、高圧 20GPa の実験装置を Spring-8 や PF-AR-NE1 に持ち込み、測定を行った。電子散乱に比べ、核共鳴散乱はゆっくりと減衰するので感度良く測定が可能である。核のエネルギーレベルが複数存在す

ると、この前方散乱の減衰過程に振動モードが現れ、エネルギーレベルの同定が可能となる。放射光は高強度であるため、小さな試料も測定出来るだけでなく、偏光測定も可能となり、核の感じる内部磁場方向がわかり、磁気構造を決定することができる。また、 ^{151}Eu 核共鳴前方散乱の圧力依存性の実験より、内部磁場が大きく変化する圧力領域があることがわかり、その前後で ^{57}Fe 核共鳴前方散乱から ^{57}Fe 核の感じる内部磁場が決定できた。この結果、 EuFe_2As_2 は、**Eu** および **Fe** サイトの磁性と超伝導が微視的に共存する領域が存在することが明らかにされた。また、超伝導との共存可能なサイトの磁性は常圧とは異なる磁気構造を有し、 ^{57}Fe 核の内部磁場は常圧の 7 割程度まで減少していることも明らかになったことが紹介された。

講演会終了後、講師の研究室と低温センターの見学会が開催された。10 人ずつの 2 班に分かれ、低温実験装置が紹介された。大型の希釈冷凍機では mK 領域での測定を、小型の今では珍しいガラスのクライオスタットでは、1 K 領域でヘリウム消費量が少なく、小回りの効く機敏な実験にと使い分けられていた。研究室内のヘリウム回収配管は、1 インチより細めだったが、ヘリウム移送時に内圧が上がらないかとの質問には、今まで特に問題を感じたことがないとの回答であった。室外の配管が太いからかもしれないと補足説明があった。低温センターでは、液化機はだいぶ古いと言われていたが、60 L/H の液化速度があり、回収ヘリウムガスの純度は 99 % 以上を常時保っているため、内部精製器が作動することはほとんどないため、液化率は落ちないとのことであった。

最後に、兵庫県立先端科学技術センター内の会場で、懇親会が開催され、講演内容のさらに突っ込んだ議論や、大学の潤沢な施設と広大な敷地の話などで盛り上がった。

多忙にもかかわらず、会場の世話から、講師依頼、見学会の企画まで兵庫県立大学の住山先生を初めとした大学院物質理学研究科の皆様にお世話になりました。この場を借りて厚く御礼を申し上げます。（大阪大学 川山 巖、大阪市立大学、矢野英雄、畑 徹、石川修六）



講演会の様子